

상부 척수손상 환자에서 기능적 전기자극이 객담 배출능력에 미치는 효과

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

신지철 · 강성웅 · 박창일 · 강윤주 · 김성원 · 안재기

= Abstract =

Effect of Functional Electrical Stimulation on Clearance of Broncheal Secretion in Patients with High Spinal Cord Injury

Ji Cheol Shin, M.D., Seong Woong Kang, M.D., Chang Il Park, M.D.
Youn Joo Kang, M.D., Sung Weon Kim, M.D. and Jae Ki Ahn, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine and Research Institute of Rehabilitation Medicine
Yonsei University College of Medicine

Objective: To determine the effects of abdominal functional electrical stimulation(FES) on the ability to clear the broncheal secretion in high spinal cord injury(SCI) patients.

Method: Eleven cervical SCI male patients were assessed for the pulmonary function using a routine pulmonary function test. Maximal expiratory pressure(MEP) and peak expiratory flow rate(PEFR) measurements were recorded during (1) spontaneous cough attempts and (2) cough attempts with FES applied to the abdominal wall. Each measurement was recorded in supine and sitting positions. The portable FES unit was set at 24 Hz, with a pulse width of 150 microsecond(μ s), an asymmetrical biphasic waveform and a maximal intensity to 90 mA.

Results: All subjects had a decreased vital capacity, peak expiratory flow and increased ratio of forced expiratory volume at one second(FEV1) to the forced vital capacity(FVC) in a routine pulmonary function test. These cervical SCI patients were greatly reduced the MEP and the PEFR when they coughed spontaneously. FES-assisted coughing increased the MEP and PEFR in all patients in a supine and sitting positions with statistical significance($p < 0.05$).

Conclusion: By increasing the MEP and PEFR, abdominal FES could enhance the coughs in high SCI patients. Abdominal FES can be a useful physical therapy for the prevention and treatment of pulmonary complications in high SCI patients at the bed side as well as at homes.

Key Words: High spinal cord injury, Functional electrical stimulation, Maximum expiratory pressure, Peak expiratory flow rate

* 이 연구는 연세대학교 의과대학 1997년도 신진교수연구비에 의해 이루어졌음.

서 론

상부 척수손상 환자는 호흡기계의 탄력성(compliance)의 감소 그리고 호흡근육의 마비로 호흡시 일량이 증가하게 되며 이로 인한 호흡부전으로 많은 환자가 사망하게 된다.^{5,10,23,28)} 특히 복부와 흉곽의 호기 근육들의 근력 소실은 기침과 객담제거의 능력을 감소시키며 결과적으로 기도내 분비물의 축적을 초래하여 여러 가지 호흡기계 합병증을 발생시킨다.^{10,12)} 따라서 이러한 기도내 분비물의 누적을 방지하고 호흡기계 합병증을 감소시키기 위하여 기관지경, 기관내 흡입, 타진과 진동에 의한 치료, 그리고 체위배액요법과 같은 물리치료를 이용하여 객담 배출을 촉진시켜야 한다.^{5,23)}

그러나 기관지경, 기관내 흡입, 그리고 기관지 절개술은 침습적 방법으로서 기관지에 상처 혹은 자극을 주어 감염을 일으키기도 하며, 또한 기관내 흡입은 폐포의 산소분압을 떨어뜨리기도 한다.^{5,23,26)} 그리고 양압과 음압을 교대로 이용하는 객담 배출 보조기구인 insufflator-exsufflator는 분비물 제거를 효율적으로 도와줄 수 있으나 기구 사용에 있어서 훈련된 사람이 필요한 제한이 있다.⁶⁾

특별한 기구를 사용하지 않는 물리치료로는 타진과 진동, 체위배액요법, 기침보조법(assisted coughing)과 강제호기법 등이 있다. 그러나 이러한 비침습적 방법들도 전문적으로 훈련을 받은 물리치료사에 의하여 실시되어야 하므로, 가정관리 등에 있어서는 많은 제한점이 있다.^{21,22)} 그 외, 이러한 일반적 물리치료외에도 객담 배출능력을 향상시키기 위하여 여러 가지 방법들이 시도되고 있다.^{7,15)}

1993년 Linder²²⁾는 사지마비 환자에서 복부에 기능적 전기자극을 적용하여 자발적 기침시에 비하여 최대 호기압(Maximal expiratory pressure)이 79.4%나 증가되었다고 보고하였는데, Jaeger와 Turba²⁰⁾은 기능적 전기자극을 24명의 사지마비환자의 복부에 적용하여 14명에서 최대 호기량률(Peak expiratory flow rate)이 30.8% 증가하였지만, 나머지 10명에서는 효과적인 복부 수축이나 기침 유도 반응을 보이지 않았다고 보고하였다.

따라서 본 연구에서는 상위운동 신경마비 환자의 기능 향상을 위해 사용되고 있는 기능적 전기자극

을 이용하여, 상부 척수손상 환자의 복부 근육을 수축시켜 흉곽내 압력 증가를 통해 기침 능력을 증가 시킴으로써, 호흡기계 합병증 유발의 주원인인 기도내 분비물의 제거에 기능적 전기자극을 효과적으로 사용할 수 있는 지를 알아보고자 하였다.

연구대상 및 방법

1) 연구 대상

1997년 6월부터 8월까지 연세의대 재활병원에 입원하였던 상부 척수손상 환자들중 척수손상후 3개월 이상 경과하였고, 복부의 병변이 없으며, 병력, 이학적 검사 및 흉부 단순방사선 검사상 원발성 폐질환이 없고, 인공심박동기 등 기능적 전기자극의 금기사항이 없는 11명의 남자환자를 대상으로 하였다.

2) 연구 방법

(1) 폐기능 평가: 모든 대상 환자들에게 기침 기능의 평가를 위하여 최대 호기압과 최대 호기량률을 포함한 폐기능검사를 시행하였는데, 일반 폐기능검사는 폐기능 검사실에서 실시하였다.

최대 호기압의 측정은 최대 정적압력 측정기인 Spirovis(COSMED Srt.; Italy)를 이용하여 양와위와 앉은 자세에서 코를 막고 시행하였다. 최대 호기압은 환자에게 총 폐용적에 최대한 가깝게 천천히 흡기하도록 한 후, Spirovis에 연결된 flanged type의 mouthpiece를 통하여 최대한 세게 호기를 하게 하여 측정하였다. 이 때 측정 시마다 최소한 1초 이상 지

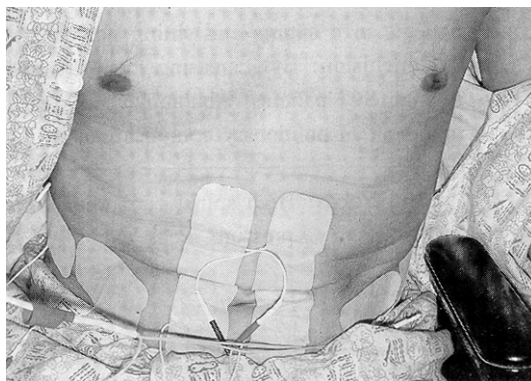


Fig. 1. Abdominal muscle contraction during functional electrical stimulation.

속된 최대 압력을 기록하였으며, 3회 이상 시행하여 측정된 값들중 최대값을 선택하였다.²⁷⁾

최대 호기량률의 측정은 Personal best peak flow meter(Health scan; U.S.A.)를 사용하여 역시 양와위와 앉은 자세에서 코를 막고 시행하였다. 최대 호기량률은 환자에게 총 폐용적에 최대한 가깝게 천천히 흡기하도록 한 후 mouthpiece를 통하여 최대한 세계 호기를 하게 하여 측정하였다.¹⁸⁾ 이 때도 역시 3회 이상 시행하여 측정된 값들중 최대값을 선택하였다.

최대 호기압과 최대 호기량률은 먼저 자발적인 상태에서 측정하였으며, 환자의 활력증후가 안정된 후에 기능적 전기자극을 실시한 상태에서의 최대 호기압과 최대 호기량률을 다시 측정하였다.

(2) 기능적 전기자극: 기능적 전기자극은 Parastep I System(Sigmedics, Inc.; U.S.A.)을 사용하였다.

전극은 고전도성 겔을 부착한 표면전극을 사용하였는데, 활성전극은 양측 복직근과 외복사근에 최대 수축이 관찰되는 운동점에 각각 부착하였으며, 기준 전극은 각 활성전극의 주변부에 부착하였고, 접지전극은 정중부에 위치하였다(Fig. 1).

전기 자극의 변수들로 파형은 비대칭성 이상성파를 사용하였으며, 자극빈도는 24 Hz, pulse width는 150 μ s, 자극기간은 2~3초를 넘지 않게 하였다. 그리고 자극의 세기는 복부근의 수축이 육안으로 충분히 관찰될 때까지 증가시켰으며, 최대 90 mA까지 증가시켰다. 그리고 전기자극으로 인한 근육의 피로를 방지하기 위하여, 자극당 1분간의 휴식시간을 두고 총 3회를 실시하였다.

전기자극으로 인한 합병증은 2명의 환자에서 표면전극을 부착한 복부에 경미한 피부발적만이 관찰되었으며, 다른 합병증들은 관찰되지 않았다.

(3) 자료 분석 방법: 자발적 기침과 기능적 전기자극시의 최대 호기압과 최대 호기량률의 차이를 Wilcoxon Matched-pairs Signed-Rank Test를 이용하여 통계학적 유의성을 검정하였으며, 이 때 자세변화에 따른 차이도 비교하였다. 그리고 유의수준은 0.05로 하였다.

결 과

(1) 대상자 11명은 모두 남자이었으며 평균연령은 30.7세이었고, 손상후 연구를 시행하기까지의 평균

기간은 16.3개월이었다. 신경학적 손상부위는 제 4번 경수가 5명으로 가장 많았고, 제 6번 경수가 3명, 제 5번 경수가 2명, 제 7번 경수가 1명이었다. 손상정도는 Frankel A가 4명, B가 4명, C가 3명이었다(Table 1).

(2) 일반 폐기능 검사상 폐활량은 정상인의 평균 43%로 감소되었고, 1초간 강제 흡기량과 강제 폐활량의 비는 정상인의 평균 119.4%로 증가되었다. 최대 호기량은 정상인 58.7%로 감소되었다(Table 2). 이리

Table 1. Clinical Characteristics of the Patients

| Patient | Age (yrs) | Neurological level | Frankel classification | Time since injury (months) |
|---------|-----------|--------------------|------------------------|----------------------------|
| 1 | 34 | C4 | B | 8 |
| 2 | 25 | C4 | A | 17 |
| 3 | 20 | C4 | B | 11 |
| 4 | 31 | C4 | A | 5 |
| 5 | 27 | C4 | B | 73 |
| 6 | 26 | C5 | A | 5 |
| 7 | 31 | C5 | C | 11 |
| 8 | 40 | C6 | A | 11 |
| 9 | 27 | C6 | C | 8 |
| 10 | 33 | C6 | B | 15 |
| 11 | 57 | C7 | C | 16 |

Table 2. Results of Pulmonary Function Test

| Neurological level | % of predicted values | | |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-------------------|
| | VC ¹⁾ | FEV1/FVC ²⁾ | PEF ³⁾ |
| C4 | 39 \pm 7.2 | 114.4 \pm 8.1 | 50.4 \pm 8.9 |
| C5 | 35 \pm 1.4 | 113.5 \pm 9.1 | 45.5 \pm 4.9 |
| C6 | 48 \pm 9.8 | 123.0 \pm 5.7 | 61.5 \pm 10.6 |
| C7 | 41 | 120 | 59 |
| Total | 43 \pm 9.6 | 119.4 \pm 6.3 | 58.7 \pm 13.3 |

Values are given as mean and standard deviation.

1. VC: Vital Capacity

2. FEV1/FVC: Forced Expiratory Volume per one second /Forced Vital Capacity

3. PEF: Peak Expiratory Flow

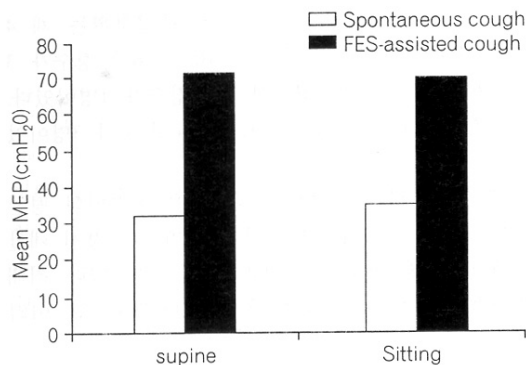


Fig. 2. Change of maximal expiratory pressure(MEP) after abdominal functional electrical stimulation.

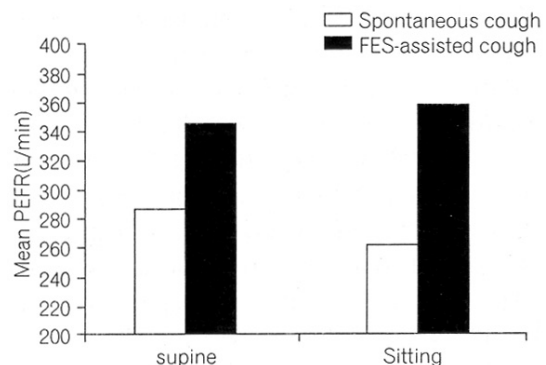


Fig. 3. Change of peak expiratory flow rate(PEFR) after abdominal functional electrical stimulation.

한 소견은 상부 척수손상환자에서 나타나는 전형적인 중등도 이상의 제한성 폐기능 감소와 일치하였으며, Frankel의 분류에 따른 폐기능 감소의 차이는 없었다.

(3) 최대 호기압의 변화를 살펴보면, 양와위에서 자발적 기침시 32.2 ± 8.7 cmH₂O에서 전기자극시 71.7 ± 12.5 cmH₂O로 통계학적으로 유의하게 증가하였으며($p < 0.01$), 앉은 자세에서도 자발적 기침시의 35.2 ± 15.0 cmH₂O에서 전기자극시 70.0 ± 16.4 cmH₂O로 역시 유의하게 증가하였다($p < 0.01$). 그러나 자발적 기침시나 전기자극시 자세의 변화에 따른 유의한 차이는 관찰되지 않았다(Fig. 2).

(4) 최대 호기량률의 변화를 살펴보면, 양와위에서 자발적 기침시 287.7 ± 36.7 L/min에서 전기자극시 345.9 ± 89.9 L/min로 통계학적으로 유의하게 증가하였으며($p < 0.01$), 앉은 자세에서도 자발적 기침시의 260.9 ± 44.1 L/min에서 전기자극시 356.8 ± 77.8 L/min로 역시 유의하게 증가하였다($p < 0.01$). 그리고 자발적 기침시 양와위에서의 값이 앉은 자세의 값보다 유의하게 컸으나($p < 0.05$), 전기자극시의 자세에 따른 차이는 없었다(Fig. 3).

고 찰

급·만성기 상부 척수손상환자에 있어 호흡기계 질환은 치명적인 합병증으로 보고되고 있다.^{1-2,14,16,19} 일반적으로 호흡은 흡기와 호기의 두 단계로 구분되며 흡기에 관여하는 구조으로는 횡경막이 전체 흡

기에서 약 2/3를 담당하고, 그 외 경수부 신경에 지배를 받고 있는 호흡보조근들이 나머지를 담당하고 있다. 호기에 관여하는 구조로는 흉수 6번에서 12번까지의 신경의 지배를 받고 있는 복부근들이 가장 중요하며, 그 외 늑간근, 대흉근, 광배근, 대원근 등이 보조적인 역할을 담당하고 있다. 따라서 상부 척수손상 환자의 경우에는 늑간근과 복근이 마비되기 때문에 호기는 주로 팽창된 흉곽의 탄력성에 의존하여 수동적으로 발생하며, 기도내 분비물 제거에 필수적인 능동적 호기, 즉 기침의 능력을 소실하게 된다.^{13,23,30}

본 연구에서도 일반 폐기능검사에서 상부 척수손상 환자들에서 관찰되는 특징적인 제한성 호흡기능 저하 양상을 관찰할 수 있었으며, 이러한 결과는 이전의 다른 연구들과도 일치하였다.^{5,23} 그러나 신경손상에 대한 Frankel의 분류에 따른 최대 호기압 및 최대 호기량률은 차이가 없었는데 이는 대상 환자의 수가 적었기 때문인 것으로 생각한다.

최대 정적 압력인 최대 호기압은 주어진 폐용적에서 형성되는 최대 압력으로서 일반 폐용적보다 호흡근육의 약화를 예민하게 반영한다고 알려져 있어, 신경근육계 질환의 초기변화시 폐활량 감소 측정에 도움이 된다고 하였다.^{9,17} 그리고 최대 호기량률은 강제 호기 중에 발생하는 단위시간당 최대 유량으로 호기근의 근력과 기도의 용적 그리고 폐용적의 영향을 받으며,¹⁸ 객담배출 능력을 평가하는데 효과적인 지표로 이용할 수 있다고 하였다.^{18,20} 따라서 본 연구에서는 객담배출 능력의 변화를 측정하

기 위하여 최대 호기압과 최대 호기량을 사용하였다.

최대 호기압은 정상 성인에서는 연령에 따라 150~200 cmH₂O로 보고하고 있는데,^{8,31)} 본 연구에 참여한 경수손상 환자들은 최대 호기압이 정상치의 30% 미만으로 감소되어 있었고 이는 다른 연구결과^{5,22)}와 비슷한 수준을 보였다. 그리고 최대 호기량은 정상성인에서는 평균 539 L/min로 보고하고 있으며,¹⁸⁾ 본 연구의 경수손상 환자들은 평균 274.3 L/min로 역시 이전의 다른 연구결과²⁰⁾에서와 같은 수준으로 감소되어 있었다.

이전의 많은 연구들은^{4,15,25,29)} 주로 상부 척수손상 환자들의 흡기근 강화에 대한 운동에 대한 결과를 보고하였으며, 호기근 강화에 대한 연구는 적었다. 1989년에 Walker등³¹⁾은 상지 작업계(ergometer)를 이용한 호흡운동 치료를 7주에서 12주간 시행한 후 호기근의 강화효과는 없었다고 보고하였다. 그러나 1991년 Estenne등¹⁵⁾은 호기 보조근인 대흉근을 강화시키기 위하여 근전도 자기제어법을 이용한 등척성 운동을 12명의 사지마비환자들에게 6주간 실시하여 대흉근 근력의 증가와 이로 인한 호기 잔류용적의 증가가 있었으며, 환자의 기침능력도 향상되었다고 보고하였다. 그리고 Bieng-Sorensen등⁷⁾은 호흡근육 훈련용 마스크를 이용한 호기근의 근력증가 운동을 실시하였으며, 그 결과 최대 호기량의 증가를 보여 호기근 강화훈련이 기침능력 향상에 기여할 수 있음을 보고하였다. 그러나 이들의 연구는 주된 호기근인 복부근의 근력을 증진한 것이 아니었으며, 운동의 시행에 있어 전문적 인력이 필요하고 장시간의 훈련이 요구된다는 점에서 실제 임상에 적용할 때 많은 제한이 있다.

이에 비하여 기능적 전기자극은 복부근에 직접 작용하여 호기능력을 향상시켜 효과적으로 객담배출을 유도할 수 있으며, 휴대가 간편하고 적용에 전문인력이 필요하지 않다는 것이 장점이라 할 수 있다. 1993년에 Linder,²²⁾ Jaeger와 Turba²⁰⁾는 기능적 전기자극을 이용하여 사지마비 환자의 기침능력을 증가시킬 수 있다는 연구결과를 보고하였다. Linder²²⁾는 사지마비 환자에서 복부에 기능적 전기자극을 적용하였을 때 자발적 기침시에 비하여 최대 호기압을 약 80% 증가시켰다고 보고하였고, Jaeger와 Turba²⁰⁾도 기능적 전기자극을 24명의 사지마비환자의 복부

에 적용하여 이들중 14명에서 최대 호기량이 약 31% 증가하였으나, 나머지 10명은 효과적인 복부 수축이나 기침 유도 반응을 보이지 않았다고 보고하였다.

본 연구에서는 복부근의 기능적 전기자극시 최대 호기압과 최대 호기량이 앙아위와 앉은 자세 모두에서 의미있게 증가하였다($p < 0.01$). 최대 호기압은 앙아위에서 122%, 앉은 자세에서 98% 증가되어 Linder²²⁾의 결과보다 더욱 효과적이었으며, Jaeger와 Turba²⁰⁾의 연구에 비하여 대상환자 11명 모두에서 기능적 전기자극에 의한 복부근의 수축을 관찰할 수 있었다.

이러한 차이점은 전극의 부착부위와 전기자극 변수들의 차이에 의한 것으로 생각되며, 이에 대한 비교연구가 앞으로 필요하다고 생각한다.

또한 본 연구에서는 자발적 기침시와 기능적 전기자극시 앙아위와 앉은 자세에 따른 최대 호기압과 최대 호기량을 비교하였는데, 자세의 변화에 따른 유의한 차이는 관찰되지 않았다. 다만, 자발적 기침시 최대 호기량이 앉은 자세에서 앙아위보다 유의하게 컸는데, 이러한 차이는 최대 호기량은 자세에 따른 중력이나 횡격막의 위치 등에 대해 밀접한 관련을 갖는 폐용적의 영향을 받지만,^{3,11,18)} 최대 호기압은 호흡근육의 근력을 반영하며 비교적 자세와 무관하기 때문이라고 생각한다.²⁴⁾

이상의 결과에서 복부근의 기능적 전기자극은 척수손상 환자에서 호기능력을 향상시켜 객담 배출을 위한 호흡재활 치료에 효과적으로 사용될 수 있으며, 특히 급성기 혹은 퇴원후 가정에서 환자 및 보호자에 의하여 비교적 간편하고 안전하게 사용될 수 있음을 알 수 있었다.

앞으로 복부근의 기능적 전기자극에 의한 객담 배출 능력의 평가에 대한 정량적인 연구가 필요할 것이며, 퇴원후 자가요양중인 척수손상환자들에게 가정에서의 치료를 통한 효과에 대한 연구가 필요할 것으로 생각한다.

결 론

1997년 6월부터 8월까지 연세의대 재활병원에 입원한 11명의 상부 척수손상환자들에게 표면전극을 이용한 복부근의 기능적 전기자극을 시행하여 객담

배출능력에 미치는 영향을 알아보고자 최대 호기압과 최대 호기량률의 변화를 측정하였다.

대상환자 11명 모두에서 자발적 기침시에 비하여 기능적 전기자극시 최대 호기압과 최대 호기량률의 유의한 증가를 관찰할 수 있었으며, 자세변화에 따른 호전양상의 변화는 없었다.

이상의 결과에서 복부근에 대한 기능적 전기자극은 호기능력의 증가를 통하여 객담 배출능력을 호전시키며, 상부 척수손상환자에서 호흡기계 합병증의 예방 및 치료에 이용될 수 있을 것이다. 그리고 특히 퇴원후 자가요양시 효과적인 호흡기계 재활치료 기구로서 기능적 전기자극은 유용할 것으로 생각한다.

참 고 문 헌

- 1) 나영무, 박창일, 전세일, 신정순: 외상성 척수손상 환자의 합병증에 관한 연구. 대한재활의학회지 1991; 15: 12-21
- 2) 이현숙, 박영옥: 척수손상자의 사망원인과 생존기간에 대한 조사연구. 대한재활의학회지 1994; 18: 570-575
- 3) 정한영, 권희규, 김세주, 김경희: 경수손상 환자의 자세 변화에 따른 폐기능에 관한 연구. 대한재활의학회지 1993; 17: 62-69
- 4) 편성범, 권희규, 김경희: 경수손상환자에서 호흡운동치료에 의한 폐기능 증진에 관한 연구. 대한재활의학회지 1994; 18: 302-310
- 5) Alvarez SE, Peterson M, Lunsford BR: Respiratory treatment of the adult patient with SCI. Phys Ther 1981; 61: 1737-1745
- 6) Bach JR, Intintola P, Alba AS, Holland IE: The ventilator assisted individual. Chest 1992; 101: 26-30
- 7) Biering-Sorensen F, Knudsen JL, Schmidt A, Bundgaard A, Christensen I: Effect of respiratory training with a mouth-nose-mask in tetraplegics. Paraplegia 1991; 29: 113-119
- 8) Black LF, Hyatt RE: Maximal respiratory pressures: Normal values and relationship to age and sex. Am Rev Resp Dis 1969; 99: 696-702
- 9) Black LF, Hyatt RE: Maximal static respiratory pressures in generalized neuromuscular disease. Am Rev Resp Dis 1971; 103: 641-650
- 10) Carter RE: Respiratory aspects of spinal cord injury management. Paraplegia 1987; 25: 262-266
- 11) Chen CF, Lien IN: Respiratory function in patients with spinal cord injuries: Effect of posture. Paraplegia 1990; 28: 81-86
- 12) DeTroyer A, Estenne M: The expiratory muscles in tetraplegia. Paraplegia 1991; 29: 359-363
- 13) DeTroyer A, Estenne M, Heiporn A: Mechanism of active expiration in tetraplegic subjects. New Eng J Med 1986; 314: 740-744
- 14) DeVivo MJ, Black KJ: Causes of death during the first 12 year after spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil 1993; 74: 248-254
- 15) Estenne M, Knoop C, Vanvaerenbergh J, Heiporn A, deTroyer A: The effect of pectoralis muscle training in tetraplegic subjects. Am Rev Resp Dis 1989; 139: 1218-1222
- 16) Fishburn MJ, Marino RJ, Ditunno JF Jr: Atelectasis and pneumonia in acute spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil 1990; 71: 197-200
- 17) Griggs RC, Donohoe KM, Utell MJ: Evaluation of pulmonary function in neuromuscular disease. Arch Neurol 1981; 38: 9-12
- 18) Hegewald MJ, Crapo RO, Jensen RL: Intraindividual peak flow variability. Chest 1995; 107: 156-161
- 19) Jackson AB, Groomes TE: Incidence of respiratory complications following spinal cord injury. Arch Phys Med Rehabil 1994; 75: 270-275
- 20) Jaeger RJ, Turba RM: Cough in spinal cord injured patients: Comparison of three methods to produce cough. Arch Phys Med Rehabil 1993; 74: 1358-1361
- 21) Kirby N, Barnerias MJ, Siebens AA: An evaluation of assisted cough in quadriplegic patients. Arch Phys Med Rehabil 1966; 47: 705-710
- 22) Linder SH: Functional electrical stimulation to enhance cough in quadriplegia. Chest 1993; 103: 166-169
- 23) Mansel JK, Norman JR: Respiratory complications and management of spinal cord injuries. Chest 1990; 97: 1446-1452
- 24) Ng GY, Stokes MJ: Maximal inspiratory and expiratory mouth pressures in sitting and half-lying positions in normal subjects. Resp Med 1991; 85: 209-211
- 25) Reid WD, Dechman G: Considerations when testing and training the respiratory muscles. Phys Ther 1995; 75: 971-982
- 26) Reines HD, Harris RC: Pulmonary complications of acute spinal cord injuries. Neurosurgery 1987; 21: 193-196
- 27) Rubinstein IA, Slutsky SA, Rebuck SP: Assessment of maximal expiratory pressure in healthy adults. J Appl Physiol 1988; 64: 2215-2219
- 28) Salzstein R, Melvin J: Ventilatory compromise in spinal cord injury-a review. J Am Paraplegia Soc 1986;

- 9: 6-9
- 29) Shaffer TH, Wolfson MR, Bhutani VK: Respiratory muscle function, assessment, and training. *Phys Ther* 1981; 61: 1711-1723
- 30) Siebens A, Kirby N, Poulos D: Cough following transection of the spinal cord at C6. *Arch Phys Med Rehabil* 1964; 45: 1-8
- 31) Walker J, Cooney M, Norton S: Improved pulmonary function in chronic quadriplegics after pulmonary therapy and arm ergometry. *Paraplegia* 1989; 27: 278-283